

Article, Published Version

**Samu, Gyula**

## **Zur Morphogenese des Seegebietes vor Borkum und des Südweststrandes der Insel**

Die Küste

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:  
**Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101183>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Samu, Gyula (1982): Zur Morphogenese des Seegebietes vor Borkum und des Südweststrandes der Insel. In: Die Küste 37. Heide, Holstein: Boyens. S. 37-57.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# Zur Morphogenese des Seegebietes vor Borkum und des Südweststrandes der Insel

Von Gyula Samu

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, die Morphogenese des küstennahen Seegebietes und des Südweststrandes der Insel Borkum zueinander in Beziehung zu setzen. Die Auswertung der vorhandenen Meßunterlagen ermöglicht es, die Veränderung der Morphologie und die Bewegung des Materials unter Berücksichtigung der anthropogenen Einflüsse zu beurteilen.

Der charakteristische Gestaltwandel der morphologischen Großformen ist nicht nur mit erheblichen Massenumlagerungen verbunden, sondern übt auch einen nicht abschätzbaren Einfluß auf den Inselsockel aus. Im Bereich der morphologischen Großeinheiten (Hubertgat, Horsbornplate, Möwensteert etc.) verliert der Ost-West-Sandtransport seine Kontinuität und führt gewisse Materialkreisläufe aus. In der Inselnähe und am Strand zeigen die Meßergebnisse und die Beobachtungen einen starken küstenparallelen Materialversatz.

Die Untersuchungen lassen auch erkennen, daß die Buhnensysteme zum gegenwärtigen Zeitpunkt einen Beharrungszustand herbeigeführt haben, wobei die Oberfläche des Strandes sich den wechselnden Bewegungsbedingungen angepaßt hat.

## Summary

*The presented study tries to relate the morphological development of the sea area near to the coast to that of the south-west shore of the Borkum island. The interpretation of existing methods of treatment enables to estimate the changing of morphology and the movement of material taking into consideration the anthropogenical influences.*

*The characteristic changing of large morphological shapes is not only bound up with considerable mass transposition but also has an inestimable effect on the plinth of the island. In the area of large morphological forms (Hubertgat, Horsbornplate, Möwensteert etc.) the east-west transport loses its continuity and performs certain circulations of material. In front of the island and on shore the measurements and observations indicate a strong material rubble in parallel direction to the coast area.*

*It can be recognized by these tests that a state of continuance is maintained at present and that the surface of the shore is adapting itself to the changing conditions of movement.*

## Inhalt

1. Veranlassung	38
2. Natürliche Bedingungen der morphologischen Entwicklung im Untersuchungsgebiet	38
3. Grundlagen und Untersuchungsmethodik	38
3.1 Unterlagen	38
3.2 Aufarbeitung und Analyse der Bodenproben	39
3.3 Bewertung und Bearbeitung des Kartenmaterials	39
4. Untersuchungsergebnisse	42
4.1 Veränderung der Morphologie und Materialumlagerungen	42
4.2 Verteilung der Korngrößen	50
5. Wechselbeziehungen zwischen Küste und Meer hinsichtlich des Gesamttransports und der Morphogenese	50
6. Ausblick	56
7. Schriftenverzeichnis	56

## 1. Veranlassung

Der Südweststrand von Borkum, der im untersuchten Gebiet das Nordostufer der Ems bildet, ist starken Angriffskräften (Wellen, Gezeitenströmung) ausgesetzt, die im Laufe der Jahrhunderte ein Zurückweichen der Insel bewirkten. Als Gegenmaßnahme wurde zur Sicherung der Küste und Dünen ein System von Buhnen und Deckwerken gebaut, das im wesentlichen den weiteren Abbruch verhinderte. Allerdings entstanden am Ende der Sicherungsstrecke jeweils Schäden im Strand- und Vorstrandbereich. Diese nachteilige Entwicklung und die möglichen Folgen führten zu Überlegungen über die Notwendigkeit weiterer Ausbaumaßnahmen.

Die zu erwartenden Veränderungen über die natürlichen Zusammenhänge zwischen Küste und vorgelagertem Meeresgebiet können in dem offenen System einer Flußmündung, wie dem des Ems-Ästuars, nur unter Berücksichtigung möglichst vieler Faktoren abgeschätzt werden. Die morphologische Betrachtung ist eine der Möglichkeiten, erste Erkenntnisse über das Wirkungsgefüge der gestaltenden Faktoren zu erhalten.

## 2. Natürliche Bedingungen der morphologischen Entwicklung im Untersuchungsgebiet

Das betrachtete Gebiet unmittelbar westlich und südwestlich der Insel Borkum mit einer Fläche von etwa 60 km<sup>2</sup> ist ein Teil der Außenems-Mündung (Abb. 1), der eine Untereinheit des Nordseebeckens mit örtlichen Besonderheiten bildet. Die örtlich speziellen Bedingungen und die großräumigen hydrodynamischen Vorgänge sind die maßgeblichen Ursachen der morphologischen Veränderungen. Die einwirkenden Kräfte sind teils periodischer, teils unperiodischer Natur. Die Gezeitenwelle, die eine halbtägige Form aufweist, verursacht die Wasserstandsschwankungen und die Gezeitenströme. Die in Abb. 1 dargestellte Tidekurve am Pegel Borkum-Südstrand entspricht etwa einer mittleren Tide. Unter den dynamischen Kräften sind die Gezeitenströme die bedeutendsten, die die Materialbewegung bewirken. Die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten vor Borkum erreichen einen Wert von 1,2 bis 1,3 m/sec (Abb. 1). Die Gezeitenströmung ist durch den bei überwiegend westlichen Winden erzeugten Seegang überlagert, der bei abnehmender Wassertiefe in seiner Wirkung stärker wird. Über die Windverhältnisse, deren Einfluß auf die Vorstrand- und Strandentwicklung direkt (Seegang) oder indirekt (Brandungslängsströmung) erstrangig betrachtet werden muß, gibt die Darstellung auf Abb. 1 einen Überblick.

Die Oberflächensedimente des küstennahen Seegebietes werden gegenwärtig weitgehend von den holozänen Ablagerungen gebildet, und zwar meist von sandiger Fazies. Im Mündungstrichter der Ems werden in bestimmten Bereichen, meist in den tieferen Rinnen (Randzelgat), die pleistozänen und altholozänen Schichten angeschnitten. Die Unterkante des Holozäns liegt unmittelbar im Strandbereich maximal auf NN - 10 m bis NN - 12 m (BAW 1977); seewärts sinkt die Holozänbasis steil unter NN - 15 m (DECHEND, 1950).

## 3. Grundlagen und Untersuchungsmethodik

### 3.1 Unterlagen

Die Durchführung einer sorgfältigen Kartenanalyse bildet die Grundlage für eine Untersuchung mit morphologischer Fragestellung nach den Veränderungen des Formenschatzes im



marinen Vorfeld der Insel Borkum. Die Ausgangsdaten zur Erfassung der morphologischen Entwicklung bildet ein umfangreiches Kartenmaterial, und zwar:

- a) Tiefenkarten der Ems der Jahre 1970 bis 1978 im Maßstab 1:25 000
  - b) Strandaufnahmen vom Südstrand Borkums von 1975 bis 1978 im Maßstab 1:5000
  - c) spezielle Nivellements vor dem Deckwerk am Südstrand aus den Jahren 1974 bis 1976
- Zur besseren Deutung der gestellten Aufgaben wurden meteorologische und hydrologische Daten sowie Angaben über die Baggerungen verwendet\*).

Die gewonnenen Erkenntnisse aus der morphologischen Betrachtung wurden durch granulometrische Untersuchungen ergänzt, um zu versuchen, eventuelle Beziehungen zwischen den morphologischen Veränderungen und der Korngröße festzustellen. Für die Bearbeitung der Korngrößenanalyse wurden 636 Bodenproben verwendet, die während der Sandbewegungsuntersuchungen mit radioaktiven Leitstoffen im Mai/Juni und Aug./Sept. 1977 entnommen wurden.

### 3.2 Aufarbeitung und Analyse der Bodenproben

Die Korngrößenanalyse erfolgte nach DIN 4188. Die Bezeichnung der Sedimente nach DIN 4022 ist in der nachfolgenden Unterteilung wiedergegeben:

Kies	Grobkies (gKi)	60–20 mm
	Mittelkies (mKi)	20–6 mm
	Feinkies (fKi)	6–2 mm
Sand	Grobsand (gS)	2–0,63 mm
	Mittelsand (mS)	0,63–0,2 mm
	Feinsand (fS)	0,2–0,063 mm
Schluff (Silt)		0,063–0,002 mm
Ton		< 0,002 mm

Neben den Hauptfraktionen werden ein oder zwei Nebenfraktionen genannt, die jeweils der Hauptfraktion vorangestellt und zusätzlich noch als stark oder schwach beteiligt gekennzeichnet sind (DIN 4022, REINECK, 1963): 5–15 % = schwach, 15–30 % = normalhaltig und 30–50 % = stark. Um eine bessere Übersicht der Korngrößenausbildung des Untersuchungsgebietes erhalten zu können, wurden die Bodenarten in gesonderten Gruppen zusammengefaßt (Abb. 7). Die analysierten Proben sind Korngemische, bestehend aus mehreren Kornklassen. Hierzu wird die Summenkurve für die Darstellung der Korngrößen verwendet, da nach zahlreichen Ausführungen (WALGER, 1965; INMANN, 1952; FRIEDMANN, 1962; TRASK, 1932) aus ihnen die wichtigsten Kornkennwerte (Quartil, Median und Sortierung) abgelesen werden können.

### 3.3 Bewertung und Bearbeitung des Kartenmaterials

Die Deutung der morphologischen Entwicklung ist mit einer Reihe von Voraussetzungen verknüpft: ausreichende Anzahl von großmaßstäblichen Karten in zeitlich begrenzter Folge, übersichtliche Erarbeitung der Veränderungen, Zuverlässigkeit des vorhandenen Materials, in

\*) Freundlicherweise stellte das WSA Emden zahlreiche Unterlagen zur Verfügung. Für die Überlassung derselben sei an dieser Stelle gedankt.

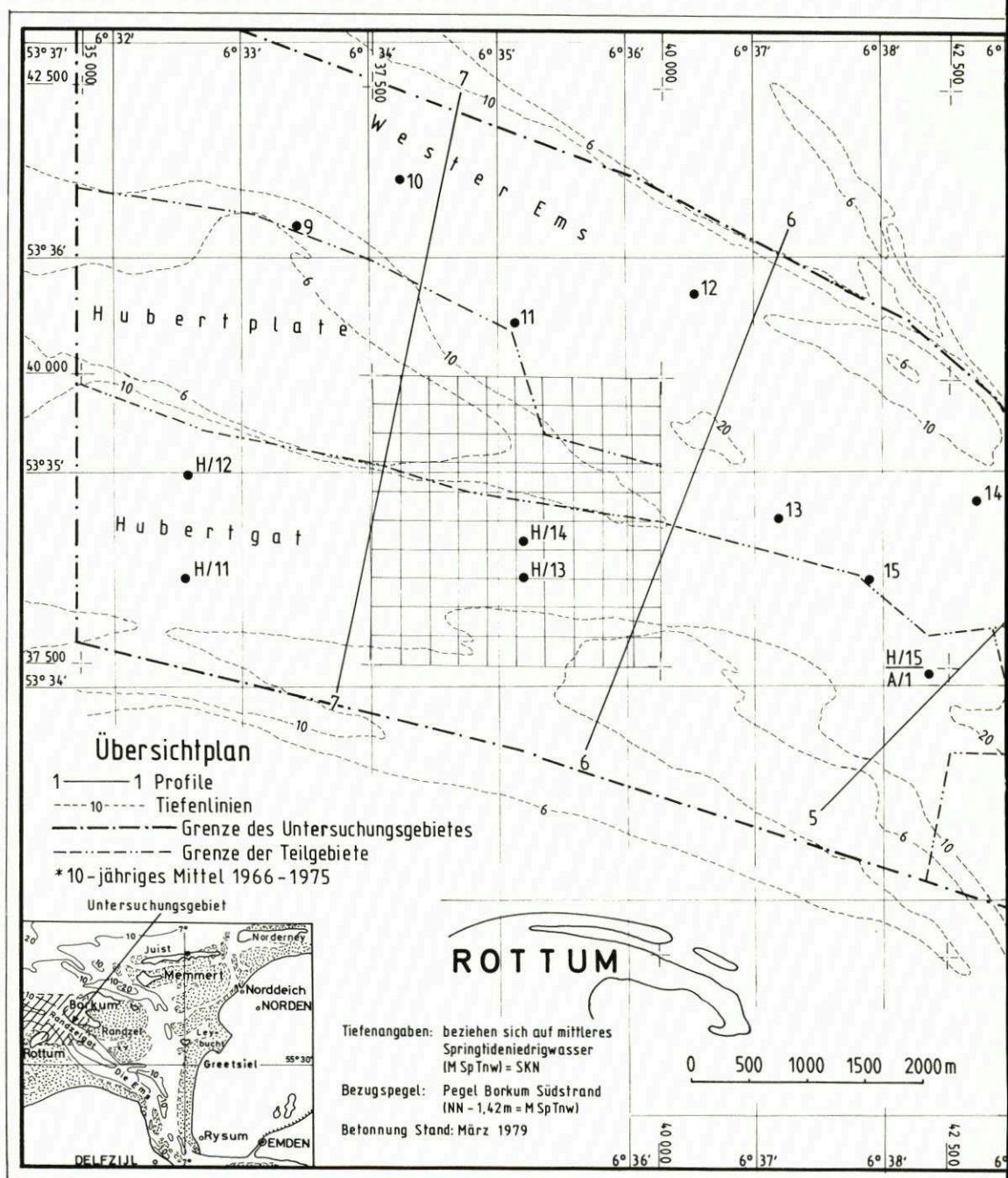
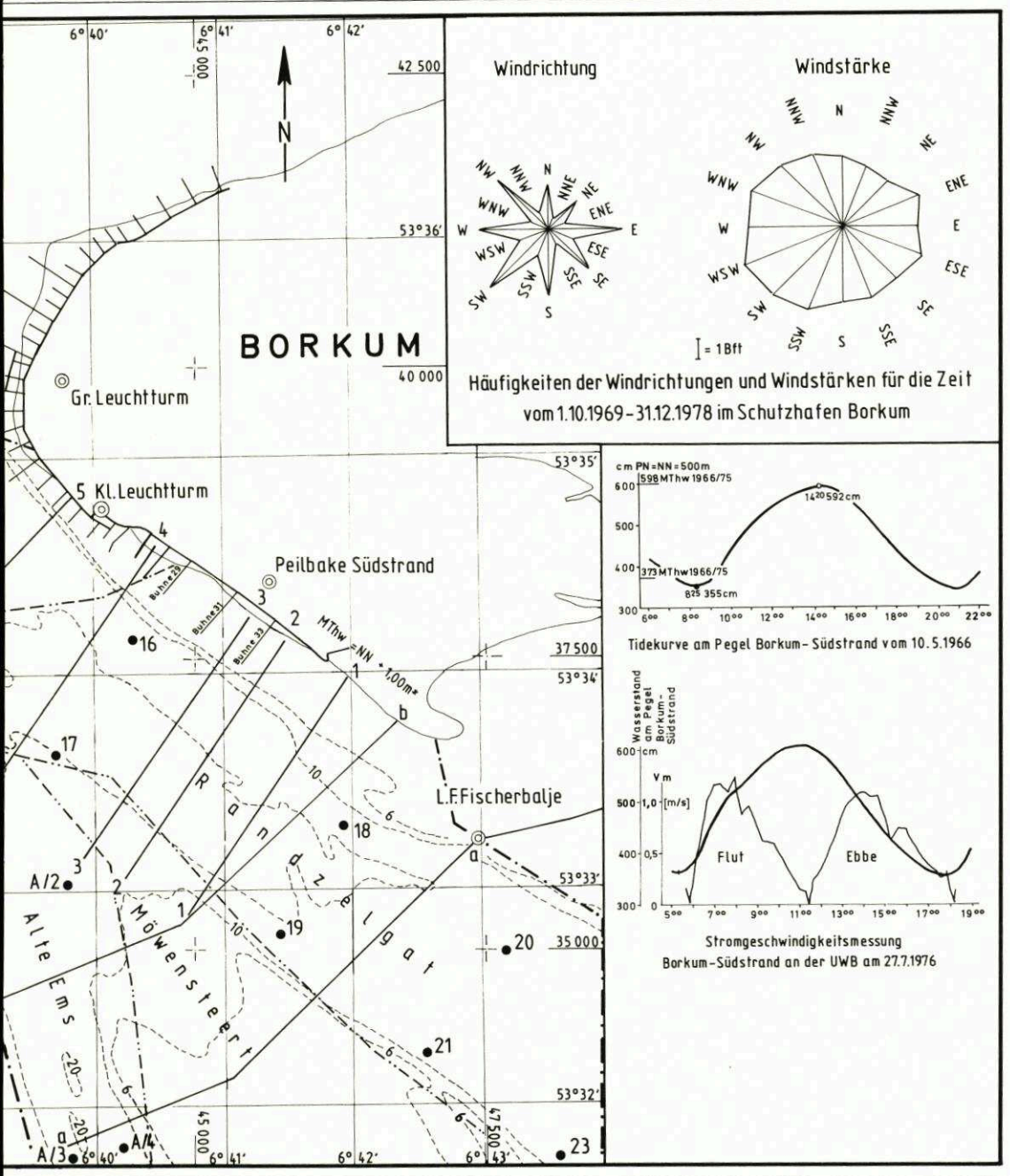




Abb.1



der Herstellung auftretende Abweichungen, Auswertungsfehler. Im Rahmen der Untersuchung sind die möglichen navigatorischen und technischen Genauigkeiten berücksichtigt worden. Diese Probleme wurden in zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen (GÖHREN, 1968; GROTHEN, 1964; LUCHT, 1973 und DHI, 1973) ausführlich analysiert.

Die Beschreibung und Deutung der morphologischen Zustandsänderung des Seegebietes vor Borkum und des Strandes basiert auf folgenden Methoden:

- a) Bestimmung der Veränderung der Tiefenlinien
- b) vergleichende Betrachtung der Querschnittsentwicklung
- c) Ermittlung der Querschnittfläche
- d) Bestimmung einiger hydrologischer Parameter der Rinnen
- e) Erarbeitung von Tiefenänderungsplänen (Differenzkarten)
- f) Massenberechnungen (Bilanzierung)

Die Menge des an dieser Umgestaltung beteiligten Materials wird durch eine Rastermethode bestimmt. Die Größe der einzelnen Raster beträgt  $1 \times 1 \text{ cm}$  ( $250 \times 250 \text{ m}$  in der Natur). Die Differenzwerte werden aus den ermittelten mittleren Tiefen der jährlichen Vermessungen für jede Rasterfläche durch Vergleiche auf halbautomatischem Wege errechnet. Aus diesen Werten lassen sich die Größen der Ablagerungen und Abtragungen berechnen und Konturenkarten zeichnen.

#### 4. Untersuchungsergebnisse

##### 4.1 Veränderung der Morphologie und Materialumlagerungen

Seit die vordringende Nordsee die heutige Küstenlinie erreicht hat, zeigt der Mündungstrichter ein instabiles Verhalten. Der Rinnen-Platenkomplex durchlief, seit eine vergleichbare Betrachtung möglich ist (16. Jahrhundert [LANG, 1954]), charakteristische Veränderungen, wobei die sog. Gats auf Kosten der Mäanderbögen sich immer stärker herausbildeten (z. B. Randzelgat). Die heutige Anordnung der Großformen entstand seit Ende des 19. Jahrhunderts. Über die Ursachen der Verlagerungen des Formenschatzes wurden viele hervorragende, allerdings untereinander in der Erklärung abweichende Berichte geschrieben (HOMEIER u. LUCK, 1971; JANSSEN, 1937; LANG, 1954; NIEBUHR, 1952 und JESSEN, 1922). In den langfristigen Phasen der Formungsprozesse (hier Säkularzeiträume) sind die kurzfristigen Entwicklungsstadien eingebettet, in denen die Einflüsse der einzelnen, zu allen Zeiten wirkenden Faktoren augenfälliger in Erscheinung treten und erfaßbar sind.

Hierzu werden die vorliegenden Beobachtungen gezählt. Bei der Gestaltung des Meeresbodens im Vorfeld der Insel sind andere Kräfte (Gezeitenströmungen) maßgebend als bei der Umformung des Strandes (Seegang, Brandungsströmungen), wobei die Grenzen zwischen denen zweier Wirkungsfelder fließend sind. Daher ist die erwogene Zweiteilung für die Betrachtung (Seegebiet und Strand) nur formal anzusehen.

Gegenüber dem Zustand des Jahres 1970 haben Gestalt und Gliederung in der Untersuchungszeit bis zum Jahre 1978 beachtliche Veränderungen erfahren. Die auffälligste Erscheinungsform auf den Differenzkarten ist die zunehmende Intensität der Materialumlagerung von außen nach innen. Nach dem Verteilungsmuster entstehen die ausgesprochenen Schwerpunkte der Erosion und Sedimentation, die auch mit schnellem Auf- und Abbau der Formen verbunden sind, meist an divergierenden Rinnenteilen. Hierzu gehören der Bereich der Horsbornplate, der Alten Ems und des Möwensteerts mit Umlagerungshöhen von über 60 dm (Abb. 2). Demgegenüber herrscht auf den höheren Teilen der Plate und in der äußeren Mündung eine schwächere flächenhafte Erosion.



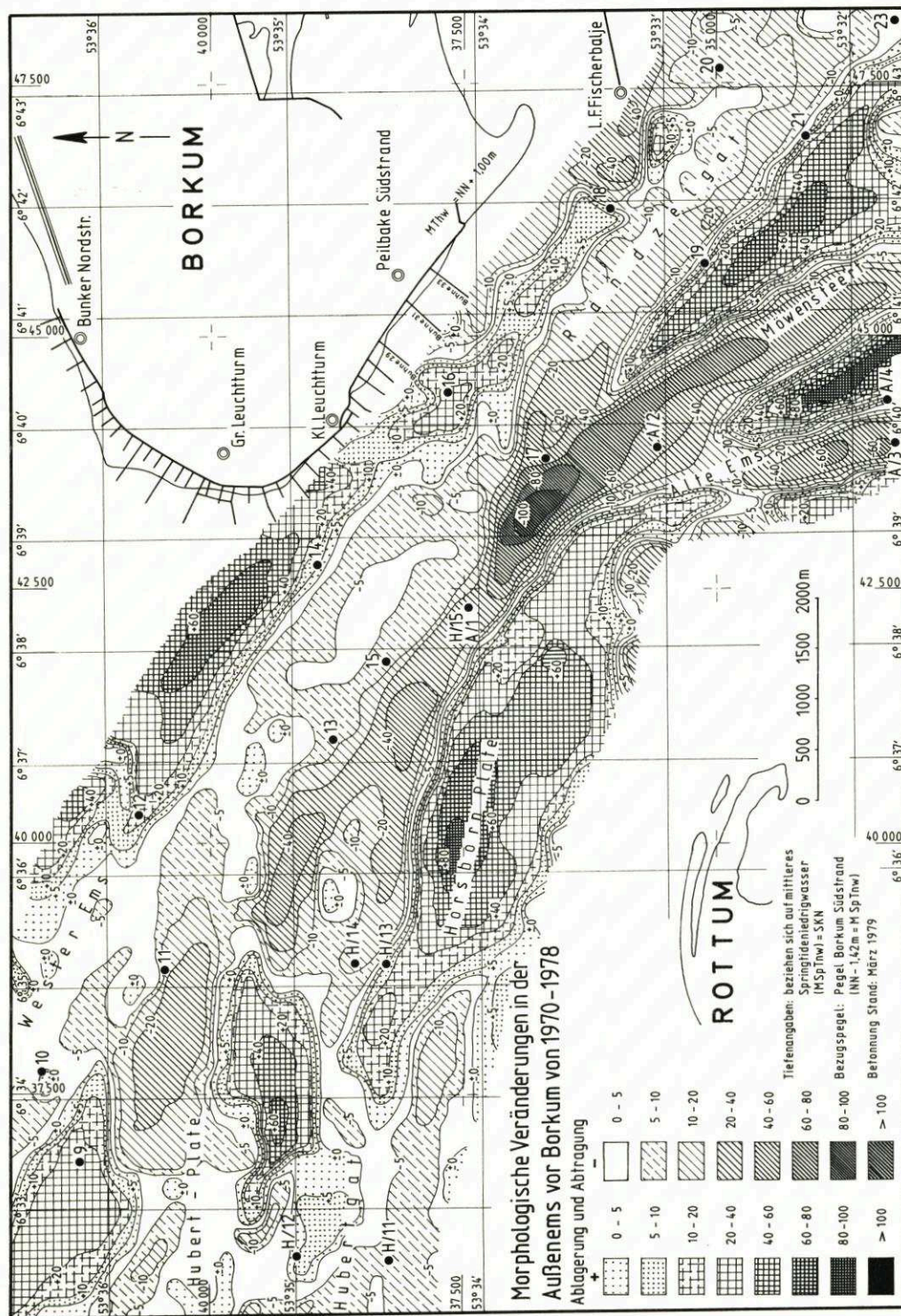


Abb. 2



Gebiet	Profil <sup>1)</sup>	Breite in m				Querschnittsfläche in m <sup>2</sup>				Tiefe in m	
		SKN - 6 m		SKN - 10 m		SKN - 6 m		SKN - 10 m		1970	1978
		1970	1978	1970	1978	1970	1978	1970	1978		
Alte Ems	a	1350	940	1225	760	9 223	8 995	3 970	5 455	15,5	20,0
	b	1450	—	975	1 180	8 266	—	3 031	4 530	16,3	18,5
Randzelgat	a	2150	1900	1950	1800	20 263	18 100	12 951	10 713	23,3	21,0
	b	1900	—	1 675	1 460	21 258	31 311 <sup>2)</sup>	14 133	12 948	21,2	22,8
Alte Ems Randzelgat	4	1212	3080	850	2860	8 302	37 617	4 065	25 590	19,0	28,7
		1638		1 512		25 944		19 269		31,0	
Westerems Hubertfahrt	5	3 525	3 150	3 000	2 840	29 578	28 390	16 630	16 136	19,0	19,1
Westerems Hubertgat	6	—	—	2 175	2 480	21 481	29 560 <sup>3)</sup>	11 844	12 203	22,7	21,5
Horsborngat	6	—	—	1 125	820	9 313		1 635	2 303	12,5	14,2
Horsborngat	6	—	875	—	—	—		—	—	—	8,9
Hubertgat	7	—	—	1 375	1 500	14 663	14 916	5 934	5 978	16,3	19,3

1) siehe Abb. 1  
2) mit Alte Ems  
3) mit Hubertgat

Veränderung der Breite, Tiefe und Querschnittsflächen  
in ausgewählten Profilen der Außenems

Abb. 3

Im Mittelpunkt des morphologischen Geschehens steht die Bildung einer neuen Plate (Horsbornplate) und ihre Verlagerung nach Nordwesten, deren Folge, die Umgestaltung des umgrenzenden Meeresbodens samt der Nordspitze des Möwensteerts bis an den Inselsockel Borkums, erkennbar ist (Abb. 4). Die festgestellten Merkmale der morphologischen Prägung (Abbau großer Teile des Möwensteerts und der Hubertplate, Einengung der Alten Ems und des Hubertgats (Abb. 3), Umrissentwicklung sowie Verlagerungstendenzen) weisen auf veränderte hydrologische Verhältnisse hin. Während der erosiven Phase gingen durch Energieabgabe am Boden erhebliche Materialumlagerungen in Suspension, deren Folge eine gewisse Verwilderung im Querschnitt Borkum-Rottum ist.

Die Entwicklung verläuft in den einzelnen Jahren nicht immer eindeutig in resultierender Richtung. Die Abweichungen bestehen vor allem in dem Wechsel von Sedimentation zu Erosion in örtlich und zeitlich unterschiedlicher Stärke. Die Größen dieser Änderungswerte werden in Tabelle 1 angegeben. Besonders die Profile für den Inselsockel zeigen untereinander erhebliche Schwankungen der Änderungstendenzen, und zwar sowohl horizontal als auch vertikal, wie an dem ausgewählten Beispiel (Abb. 5) sichtbar wird.

Der Strand gehört zu jener geomorphologischen Region, in welcher die Küstengestalt und die in vielfältig miteinander in Wechselbeziehungen stehenden Einflußfaktoren einen spezifischen Formenschatz bilden. Nach LÜDERS (1967) wird der Strand in drei Zonen gegliedert:

der trockene Strand	(zwischen HThw und MThw)
der nasse Strand	(zwischen MThw und MTnw) und
der Vorstrand	(zwischen MTnw bis SKN - 7 m)

Die Breite der drei Zonen ist auf der 4500 m langen Beobachtungsstrecke unterschiedlich ausgebildet. Die Strandbreite nimmt von Nordwesten nach Südosten ständig zu (Abb. 4). Auf dem früheren befestigten Abschnitt vor Borkum bis Buhne 27 folgt auf den flach geböschten schmalen Strand ein relativ steiler Vorstrand mit einem deutlich ausgebildeten Gefälleknick in der SKN-4-m-Tiefenlinie. Erst südöstlich der Buhne 27 wird der Strand breiter. Die mittleren Neigungen betragen für den trockenen Strand 1:30 bis 1:40, für den nassen Strand 1:40 bis 1:50 und im oberen Teil des Vorstrandes 1:80 bis 1:200 bis zum Gefälleknick.

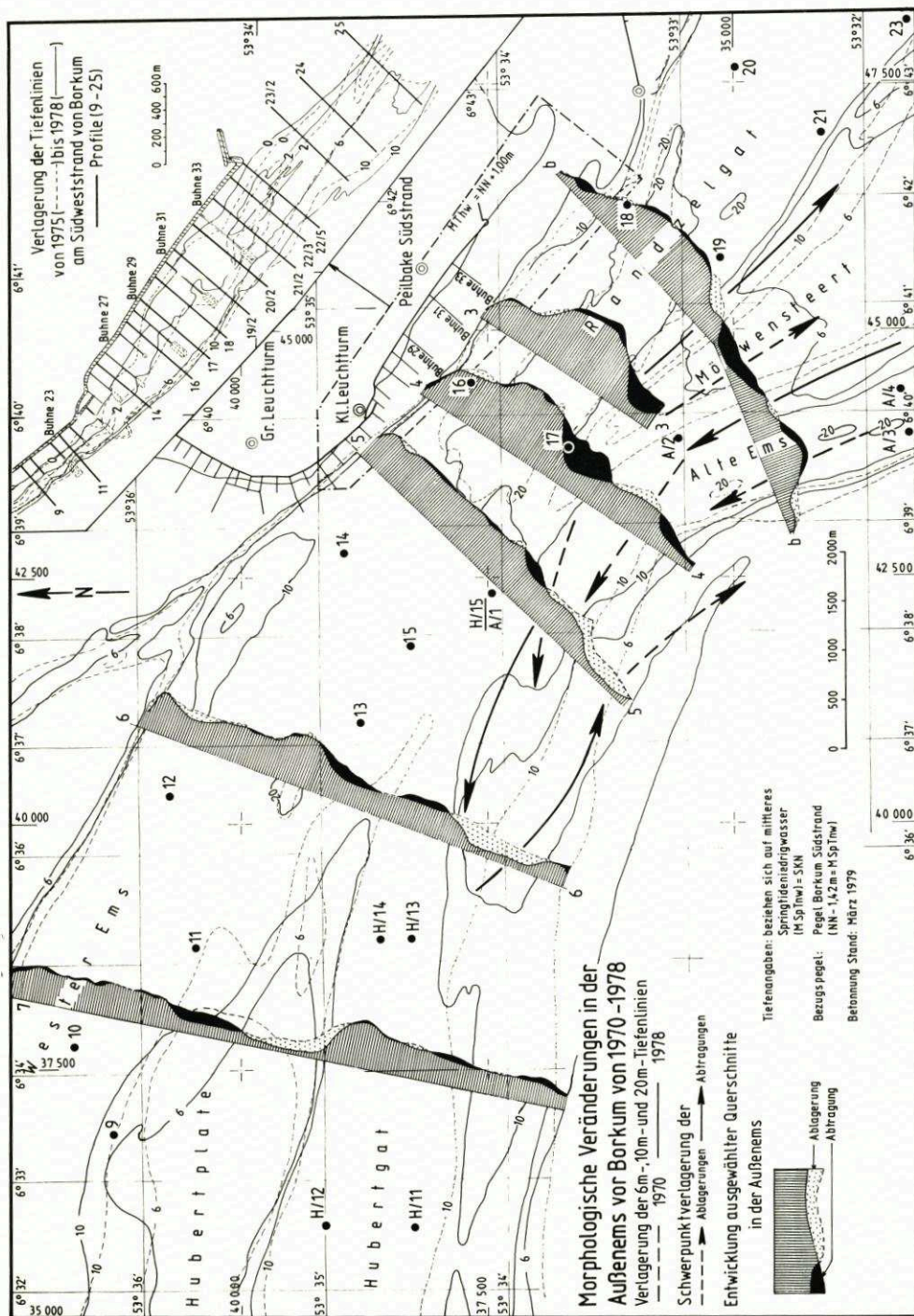
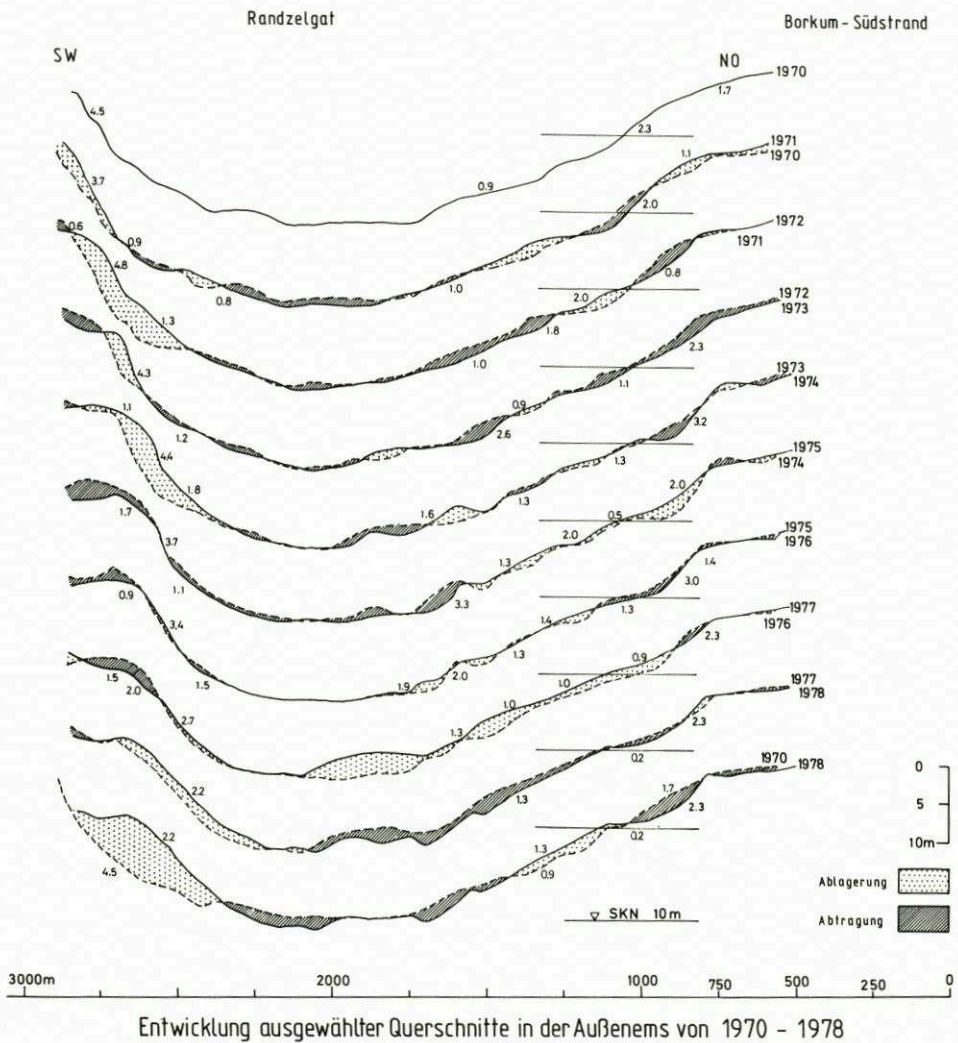


Abb. 4



## Profil 1

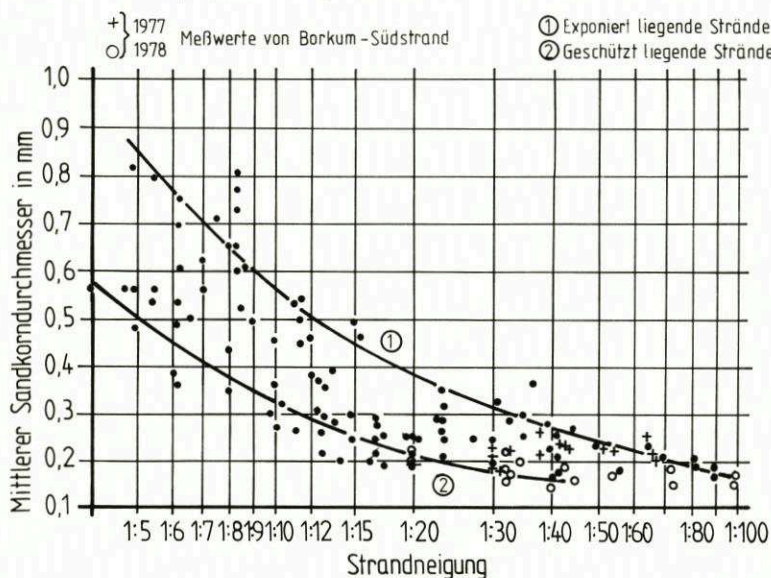


Die Strandneigung zeigt deutliche Abhängigkeiten zu anderen Parametern, wie zu mittlerem Korndurchmesser, ähnlich entsprechenden Untersuchungen für Strände an der südlichen Nordseeküste (CHRISTIANSEN, 1976). Die Meßwerte, eingetragen in das vorhandene Diagramm, ergeben eine relativ enge Streuung. Der Mittelwert zeigt ebenfalls gute Übereinstimmung zu der gegebenen Ausgleichsfunktion (Abb. 6).

Der Vergleich der Strandprofile und der Verschiebung der Tiefenlinien gestattet nur die Aussage, daß die Veränderungen in den Jahren 1975 bis 1978 örtlich verschieden sind. Der Abschnitt vor den älteren Bauwerken (Buhne 21 und 27) verhält sich relativ stabil. Die deutliche Ausräumungszone des nassen und des oberen Drittels des Vorstrandes mit einem ausgeprägten Maximum von 70 bis 90 m (Abb. 4) beginnt in der Südostseite der Buhne 31. Erst auf dem südlichsten Teil des unbefestigten Südstrandes scheint die Niveauänderung ähnlich wie in einer ungezwungenen Küstenzone zu verlaufen.

## Strandneigung und Korndurchmesser vor den Küsten der USA

(nach Wiegel, 31) und vor der Küste von Borkum



## Strandneigung und Korndurchmesser im Sommerprofil

Vergleich amerikanischer Untersuchungen (WIEGEL, 31) mit denen vor der deutschen und niederländischen Nordseeküste im Gezeitenbereich (Christiansen 6), ergänzt durch die

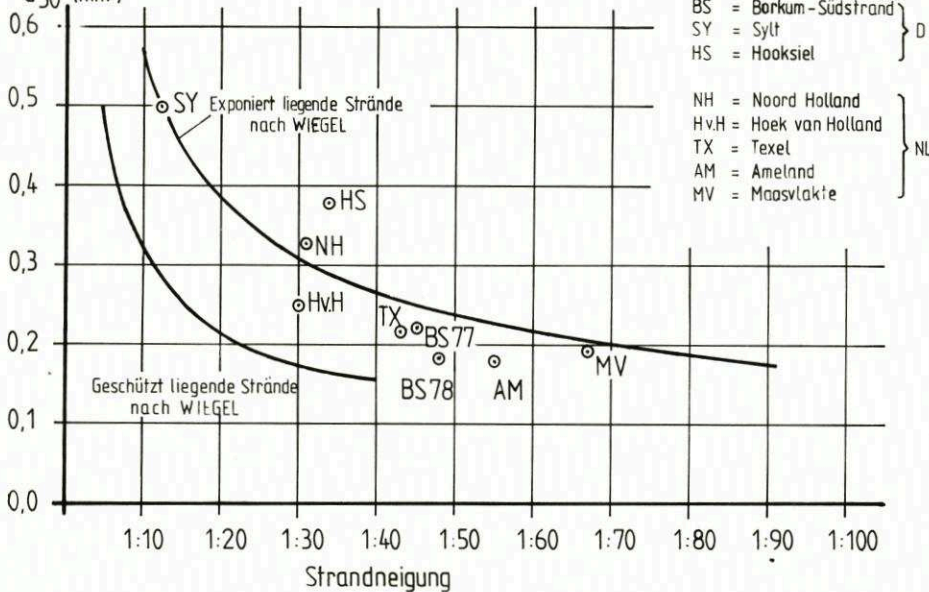
Sandkorn- $\phi$  Werte von Borkum-Südstrand $d_{50}$  (mm)

Abb. 6



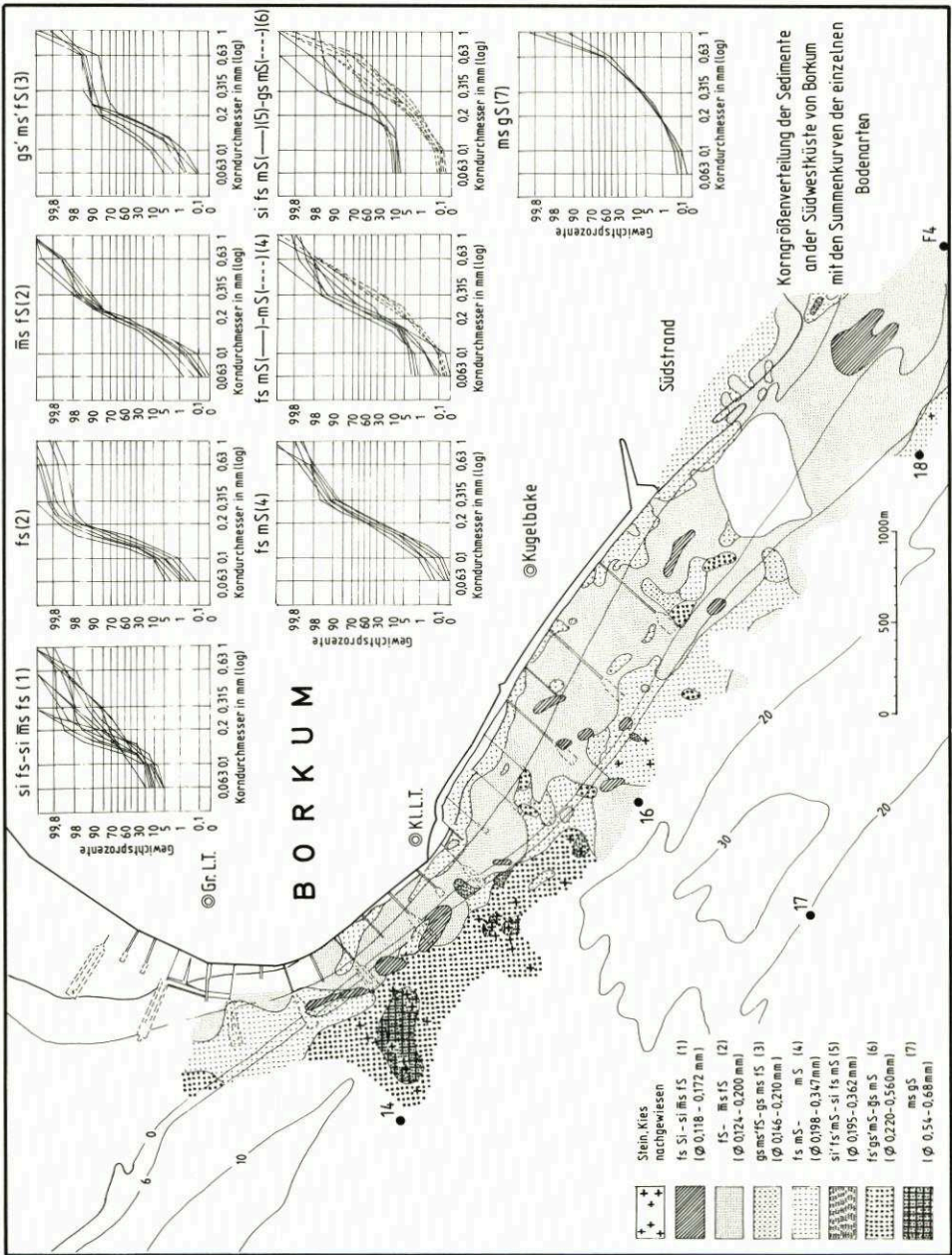


Abb. 7

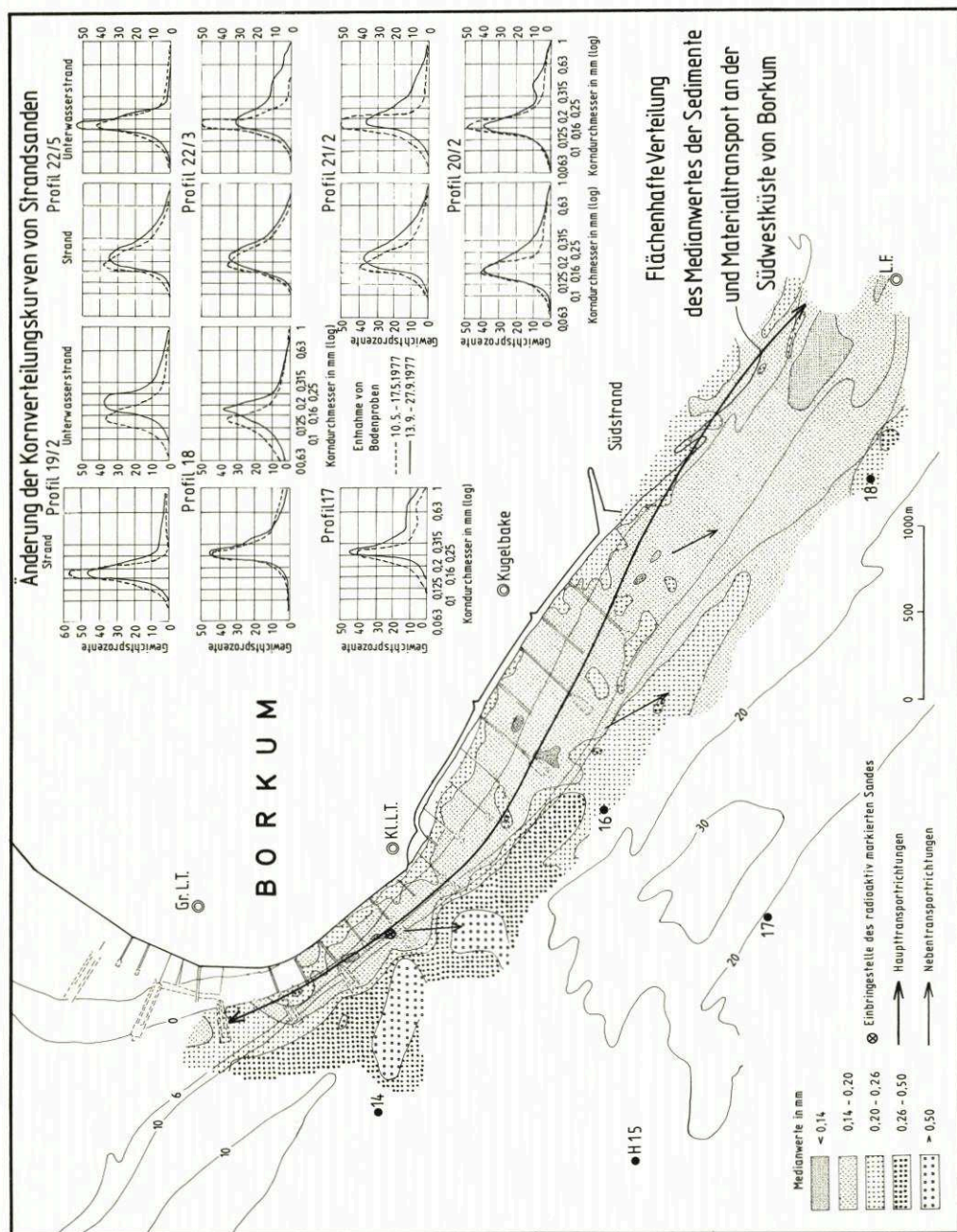


Abb. 8



Die Strandneigungen und die Höhe des Strandes unterliegen Schwankungen innerhalb der Jahrespeilungen. Die mittlere monatliche vertikale Bewegung der vor dem Deckwerk gelegenen ersten 50 m während der Meßperiode 1974 bis 1976 beträgt zwischen 17 und 30 cm/Monat. Mit der Entfernung von der Uferlinie nehmen innerhalb der Profile die Abweichungen zu. An einzelnen Punkten (Buhne 33) können die Änderungen bis zu 1,20 m/Monat betragen. Die bestehenden Entwicklungstendenzen zeigen eine Instabilität des Reliefs mit zunehmender Schwankungsbreite außerhalb der geschützten Abschnitte und mit der Entfernung von der Uferlinie. Die sichtbare Entwicklung des Inselsockels läuft teilweise entgegengesetzt zu der Formung des Strandes.

Die wichtigsten Formenkreise für die Veränderungen sind folgende morphologische Strukturen:

- a) die formbeständige Insel Borkum und der relativ stabile Inselkern von Rottum mit den zugehörigen Wattgebieten, die nur säkularen Änderungen unterworfen sind,
- b) die Kernbereiche der Platen (Hubertplate, Möwensteert) bzw. der Teilrinnen (Westerems, Randzelgat) mit größerer Beweglichkeit und häufigen Umlagerungen in ihren Randbereichen,
- c) die kurzlebigen Formen, wie die Horsbornplate, die zyklisch-periodisch sich immer wieder vor Rottumeroog bildet, sich vom Wattvorsprung löst und nach Norden wandert,
- d) schließlich der Strand mit seiner spezifischen Eigenart.

#### 4.2 Verteilung der Korngrößen

Obwohl der größte Teil des Raumes von gut sortierten Sanden mit Medianwerten von 0,1 bis 0,2 mm bedeckt wird, läßt die kartographische Wiedergabe der Kornkennwerte zwei deutlich unterscheidbare Bereiche erkennen (Abb. 7, 8):

- a) Meeresgrund und Inselsockel
- b) Strand und Vorstrand

Die Grundzüge der Korngrößenverteilung sind in küstenparallele Streifen zerlegbar. Nach KÖSTER (1979) kann die Sedimentbedeckung des Meeresbodens als eine Abfolge von Ausräumungszone (Zentren von grobem Material mit Medianwerten von  $> 0,5$  mm) und Wandersanden (Medianwert 0,1 bis 0,2 mm) aufgefaßt werden. Der Ausräumungsvorgang erfaßt zunächst die schnell beweglichen Feinsandfraktionen, die durch die kritischen Geschwindigkeiten am schnellsten erodiert werden (HJULSTRÖM, 1935). Zurück bleiben grobe Korngemische, wahrscheinlich aus pleistozänem Material stammend. Der angrenzende Bereich des Vorstrandes und Strandes weist wesentlich feineres und einheitliches Material auf, in dem allerdings Nester von verhältnismäßig feinkörnigen Sedimenten anzutreffen sind (Abb. 8). Nach den bestehenden Wind- und Seegangsverhältnissen dürften in diesen Strandregionen keine schlickhaltigen Ablagerungen vorkommen. Die Ursache mag in der Tatsache liegen, daß dort vorübergehend die Kleie des Inselsockels zutage treten. Der seegangsbedingte Wechsel in den dynamischen Bedingungen kann als Veränderung der Korngrößenzusammensetzung (Abb. 9), die in den Sommermonaten eingetreten ist, gedeutet werden.

#### 5. Wechselbeziehungen zwischen Küste und Meer hinsichtlich des Gesamttransports und der Morphogenese

Die Morphogenese der Emsmündung kann als Ergebnis langfristiger Entwicklungsprozesse aufgefaßt werden, die durch kurzfristig wechselnde Bedingungen überlagert werden.

Profil	Strandneigung MTnw bis MThw 20.6.–5.7.1977	Korndurch- messer d 50 in mm	Strandneigung MTnw bis MThw 21.3.–27.4.1978	Korndurch- messer d 50 in mm
22/5	1 : 30	0,230	1 : 20	0,205
	1 : 30	0,215		
22/3	1 : 38	0,210	1 : 43	0,190
	1 : 38	0,255		
21/2	1 : 65	0,245	1 : 33	0,187
	1 : 65	0,250	1 : 71	0,192
	1 : 43	0,238	1 : 100	0,17
			1 : 100	0,18
20/2	1 : 20	0,195	1 : 32	0,165
			1 : 32	0,184
18	1 : 55	0,220	1 : 34	0,2
	1 : 55	0,220	1 : 55	0,18
	1 : 31	0,190	1 : 45	0,167
	1 : 30	0,192	1 : 72	0,157
1 : 72			0,16	
17	1 : 34	0,220	1 : 33	0,195
	1 : 42	0,232	1 : 33	0,225
	1 : 67	0,201	1 : 40	0,152
			1 : 34	0,225
im Mittel	1 : 45	0,221	1 : 48	0,186

Strandneigung und Korndurchmesser auf dem Südstrand von  
Borkum (Strandabschnitt Buhne 29-Ende des Deckwerkes)

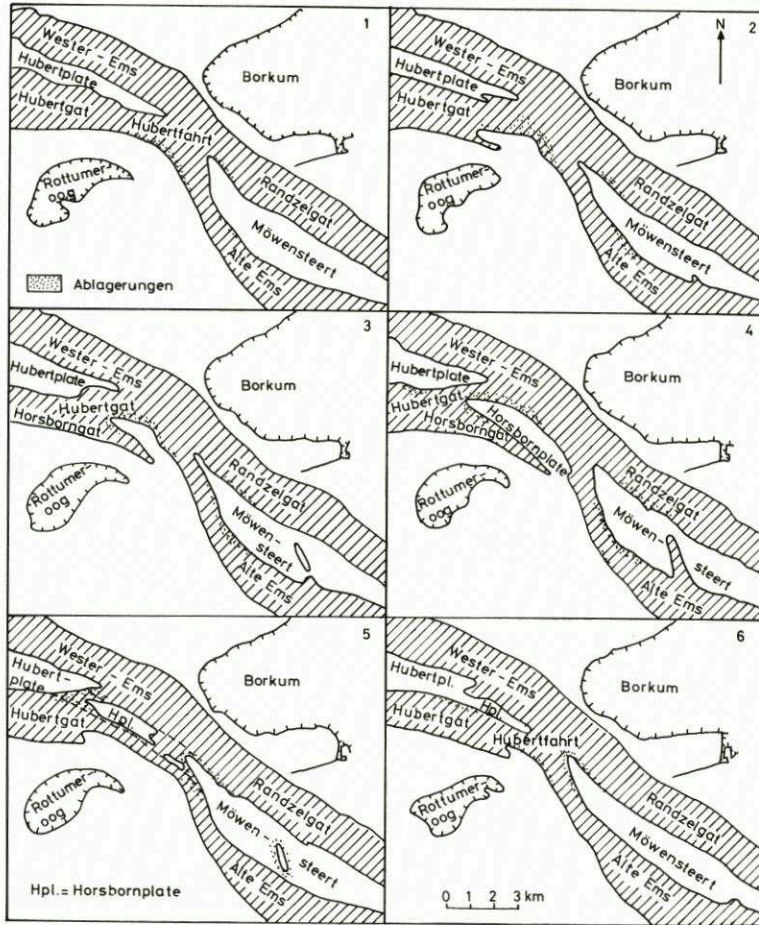
Abb. 9

Vorübergehend kommt es zu verstärktem Einfluß eines oder auch mehrerer Faktoren. Die Frage ist, ob solche unperiodischen Einflüsse natürlicher oder künstlicher Art permanente Umgestaltung bewirken oder lediglich den bestehenden überregionalen Entwicklungsablauf zeitweise verstärken oder aufheben. Die aus dem Beobachtungsmaterial erkannte Dynamik des Raumes bietet eher eine Modellvorstellung als eine endgültige Erklärung über die Entwicklungstendenzen.

Der Ablauf der Prozesse wird in der Abb. 10 mit den sechs typischen Phasen schematisch dargestellt.

Die in der Anfangsphase starke Vorschüttung der Sedimente am nordöstlichen Wattvorsprung vor Rottum leitet einen Prozeß ein, dessen Folge eine Reihe von Umgruppierungen der Makrostrukturen ist. Mit der Entstehung der (Neuen) Horsbornplate ist die Umformung des umliegenden Raumes gekoppelt, und zwar im wesentlichen des Hubert-, Horsborn- und Randzelgats, des Möwensteerts und der Alten Ems. Der Bewegungsablauf ist zyklisch-periodischer Natur (SAMU, 1972 u. 1978). Unter dem äußeren Zwang der wachsenden Plate beginnt der Flutstrom stärker von Süden einzuströmen und bildet das Horsborngat, das sich gegenwärtig an die Alte Ems angenähert hat. Nach dem Durchbruch verlagert sich die Plate rasch nach Nordwesten, und sie findet an der Hubertplate Anschluß mit einer Verbindung zum Möwensteert. Aus der Verlagerungsrichtung der Sedimentationsschwerpunkte muß geschlossen werden, daß die mit der Flutströmung aus Westen eindringende Sedimentmenge teilweise durch die Ebbströmung zurücktransportiert wird, zusätzlich genährt von Materialmengen aus dem erosiven Prozeß in der Alten Ems. Die Beobachtungen deuten auf einen Materialkreislauf hin (Abb. 4). Die Zentren der stärksten Sedimentation wandern entlang der Nordostseite der Horsbornplate nach außen und an der Südwestseite umgekehrt nach innen. Die Folge dieses Prozesses ist die Einengung der Hauptfahrrinne (Hubertgat) durch die nach





Schematische Darstellung der Entwicklung einer Plate  
in der Außenems zwischen Borkum und Rottumer oog

Abb. 10

Nord-Nordwesten sich bewegende Plate. Das Fahrwasser auf der erforderlichen Tiefe zu halten, ist nur durch Baggerungen möglich.

Der Stauungseffekt der Horsbornplate steuert auch die Ausräumung des Untergrundes in dem nördlichen Möwensteert nach Südosten längs der Platenachse. Die stetige Erosion führt zur Neuverteilung des Materials. An der Ostseite entstehen in das Randzelgat hinein Ablagerungen mit südöstlichen Verlagerungstendenzen, und an der Westseite werden ebenfalls erhebliche Sedimentmengen abgesetzt, die langsam nach Norden vorwachsen. Die soeben angedeuteten Zusammenhänge beeinflussen auch je nach der Lage der Platen und Rinnen die Formung des Inselsockels. Während der Nordbewegung der Horsbornplate und des Anschlusses an die Hubertplate (Abb. 10) besteht eine stärkere Erosion der Rinnenböschung an der Borkumer Seite (Abb. 5).

## Hubertgat

Zeit	Materialumlagerungen in m <sup>3</sup>			
	Abtrag	Ablagerung	Überschuß (+) o. Defizit (-)	Baggermengen Materialumsatz
1970 - 1971	2 493 750	6 112 500	+ 3 618 750	415 000
1971 - 1972	6 243 750	3 056 250	- 3 187 500	1 600 800
1972 - 1973	4 606 250	5 668 750	+ 1 062 500	1 457 200
1973 - 1974	3 843 750	3 787 500	- 56 250	876 800
1974 - 1975	2 331 250	9 706 250	+ 7 375 000	1 053 200
1975 - 1976	6 237 500	6 725 000	+ 487 500	999 900
1976 - 1977	6 068 750	4 506 250	- 1 562 500	750 500
1977 - 1978	6 006 250	8 368 750	+ 2 362 500	794 000
1970 - 1978	37 831 250	47 931 250	+10 100 000	85 762 500
1970 - 1978 *	10 418 750	20 518 750	+10 100 000	30 937 500

## Möwensteert

Zeit	Materialumlagerungen in m <sup>3</sup>			
	Abtrag	Ablagerung	Überschuß (+) o. Defizit (-)	Baggermengen Materialumsatz
1970 - 1971	1 300 000	2 125 000	+ 825 000	3 425 000
1971 - 1972	1 225 000	2 250 000	+ 1 025 000	3 475 000
1972 - 1973	2 931 250	1 243 750	- 1 687 500	4 175 000
1973 - 1974	1 125 000	2 037 500	+ 912 500	3 162 500
1974 - 1975	1 531 250	1 806 250	+ 275 000	3 337 500
1975 - 1976	1 062 500	725 000	- 337 500	1 787 500
1976 - 1977	2 756 250	668 750	- 2 087 500	3 425 000
1977 - 1978	118 750	1 012 500	+ 893 750	1 131 250
1970 - 1978	12 050 000	11 868 750	- 181 250	23 918 750
1970 - 1978 *	6 937 500	6 756 250	- 181 250	13 693 750

## Westerems

Zeit	Materialumlagerungen in m <sup>3</sup>			
	Abtrag	Ablagerung	Überschuß (+) o. Defizit (-)	Verklappte Baggermengen Materialumsatz
1970 - 1971	3 725 000	1 525 000	- 2 200 000	5 250 000
1971 - 1972	2 168 750	5 918 750	+ 3 750 000	4 842 810
1972 - 1973	6 275 000	5 687 500	- 587 500	7 243 100
1973 - 1974	2 475 000	3 750 000	+ 1 275 000	6 692 330
1974 - 1975	2 106 250	4 206 250	+ 2 100 000	6 312 500
1975 - 1976	2 362 500	4 718 750	+ 2 356 250	3 272 060
1976 - 1977	5 106 250	2 100 000	- 3 006 250	7 206 250
1977 - 1978	3 075 000	5 287 500	+ 2 212 500	8 362 500
1970 - 1978	27 293 750	33 793 750	+ 5 900 000	60 487 500
1970 - 1978 *	7 393 750	13 293 750	+ 5 900 000	20 687 500

## Hubert - Plate

Zeit	Materialumlagerungen in m <sup>3</sup>			
	Abtrag	Ablagerung	Überschuß (+) o. Defizit (-)	Baggermengen Materialumsatz
1970 - 1971	875 000	981 250	+ 106 250	1 856 250
1971 - 1972	2 850 000	1 725 000	- 1 125 000	4 575 000
1972 - 1973	1 606 250	1 700 000	+ 93 750	3 306 250
1973 - 1974	1 981 250	856 250	- 1 125 000	2 837 500
1974 - 1975	1 125 000	1 850 000	+ 725 000	2 975 000
1975 - 1976	1 025 000	1 868 750	+ 843 750	2 893 750
1976 - 1977	2 675 000	1 281 250	- 1 393 750	3 956 250
1977 - 1978	1 193 750	2 481 250	+ 1 287 500	3 675 000
1970 - 1978	13 331 250	12 743 750	- 587 500	26 075 000
1970 - 1978 *	6 225 000	5 637 500	- 587 500	11 862 500

\* errechnet aus dem Vergleich der beiden Jahre

Tab. 1



## Alte Ems

Zeit	Materialumlagerungen in m <sup>3</sup>				
	Abtrag	Ablagerung	Überschuß (+) o. Defizit (-)	Baggermengen	Materialumsatz
1970-1971	4 037 500	4 437 500	+ 400 000		8 475 000
1971-1972	4 100 000	2 775 000	- 1 325 000		6 875 000
1972-1973	3 662 500	3 018 750	- 643 750		6 681 250
1973-1974	2 787 500	3 075 000	+ 287 500		5 862 500
1974-1975	4 068 750	1 481 250	- 2 587 500		5 550 000
1975-1976	5 150 000	3 631 250	- 1 518 750		8 781 250
1976-1977	3 287 500	2 375 000	- 912 500		5 662 500
1977-1978	1 425 000	3 162 500	+ 1 737 500		4 587 500
1970-1978	28 518 750	23 956 250	- 4 562 500		52 475 000
1970-1978*	9 587 500	5 025 000	- 4 562 500		14 612 500

## Randzelgat

Zeit	Materialumlagerungen in m <sup>3</sup>				
	Abtrag	Ablagerung	Überschuß (+) o. Defizit (-)	Verklappte Baggermengen	Materialumsatz
1970-1971	3 231 250	2 575 000	- 656 250	3 239 370	5 806 250
1971-1972	5 218 750	2 331 250	- 2 887 500	287 990	7 550 000
1972-1973	5 606 250	2 756 250	- 2 850 000		8 362 500
1973-1974	4 843 750	1 875 000	- 2 968 750		6 718 750
1974-1975	2 500 000	4 800 000	+ 2 300 000		7 300 000
1975-1976	2 656 250	5 268 750	+ 2 612 500		7 925 000
1976-1977	4 912 500	3 968 750	- 943 750		8 881 250
1977-1978	4 337 500	4 706 250	+ 368 750		9 043 750
1970-1978	33 306 250	28 281 250	- 5 025 000		61 587 500
1970-1978*	12 906 250	7 881 250	- 5 025 000		20 787 500

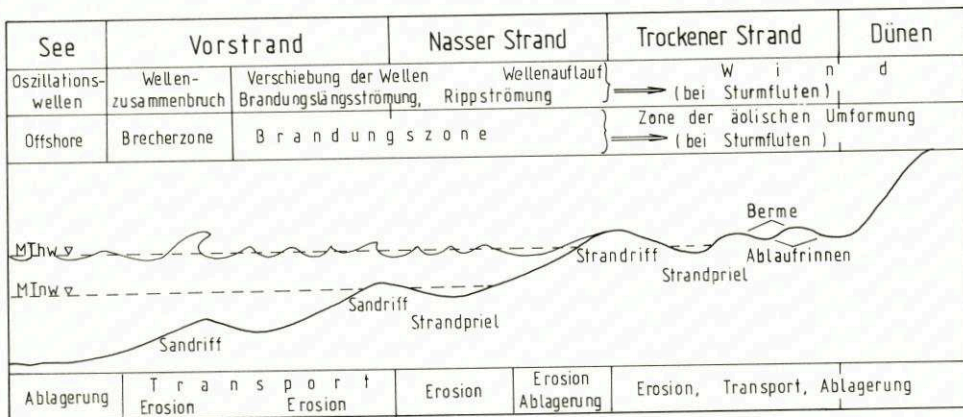
## Untersuchungsgebiet Emsmündung

Zeit	Materialumlagerungen in m <sup>3</sup>					
	Abtrag	Ablagerung	Überschuß (+) o. Defizit (-)	Baggermengen	Verklappte Baggermengen	Materialumsatz
1970-1971	15 662 500	17 756 250	+ 2 093 750	415 000	3 239 370	33 418 750
1971-1972	21 806 250	18 056 250	- 3 750 000	1 600 800	5 130 800	39 862 500
1972-1973	24 687 500	20 075 000	- 4 612 500	1 457 200	7 243 100	44 762 500
1973-1974	17 056 250	15 381 250	- 1 675 000	876 800	6 692 330	32 437 500
1974-1975	13 662 500	23 850 000	+ 10 187 500	1 053 200	3 086 120	37 512 500
1975-1976	18 493 750	22 937 500	+ 4 443 750	999 900	3 272 060	41 431 250
1976-1977	24 806 250	14 900 000	- 9 906 250	750 500		39 706 250
1977-1978	16 156 250	25 018 750	+ 8 862 500	794 000		41 175 000
1970-1978	152 331 250	157 975 000	+ 5 643 750	7 947 400		310 306 250
1970-1978	53 468 750	59 112 500	+ 5 643 750			112 581 250

\*errechnet aus dem Vergleich der beiden Jahre

Tab. 1

Außer den sichtbaren morphologischen und granulometrischen Hinweisen gibt es neben der vorherrschenden küstenparallelen Materialbewegung auch Anzeichen durch die Leitstoffmessungen (BAW-AK 1977 u. 1977/78) für eine ab- und auflandige Komponente der Materialzufuhr (Abb. 8). Der Scheitel der hufeisenförmigen Insel ist der vorwiegend aus westlicher Richtung kommenden Wellenbewegung entgegengerichtet. In erster Linie bilden das Wellenklima, aus dem die Brandungskräfte resultieren, die Gezeitenhöhe und die Morphologie die dynamischen Bedingungen, die zur Veränderung des Strandes, zur Entwicklung seines Formenschatzes und zum Materialtransport führen. Das verallgemeinert dargestellte Modell (Abb. 11) verdeutlicht die Verflechtung der morphologischen Gegebenheiten mit den hydrologischen Kräften.



Schematische Darstellung eines Strandprofils in Abhängigkeit von den gestaltenden Kräften (abgeändert nach Ingle 15)

Abb. 11

Die Brandungszone bildet einen Streifen starker Wechselwirkungen zwischen Boden und Wasser mit großen Energieübertragungen (FÜHRBÖTER, 1971). Das von den Brandungskräften vom Boden gelöste Material wird dann von dieser Strömung strandparallel in südöstliche Richtung verfrachtet. Die Buhnen unterbrechen die Brandungslängsströmung und damit die Materialbewegung. Die Ausbildung der typischen Strandformen (Sandriffe, Großrippel und Strandpriele) zwischen den Buhnenfeldern ist unvollständig oder bleibt aus; erst am Südstrand hinter dem Deckwerk treten die zahlreichen Transportkörper deutlicher hervor. Eigentlich nur während erhöhter Wasserstände findet ein Materialversatz über die Buhnen statt (BAW-AK 1978b). Gegenwärtig scheint am Südweststrand auf dem befestigten Strandabschnitt (bis Buhne 31) bei dem erzwungenen Gleichgewichtsregime (SONU et al., 1967) zwischen Abtrag und Anlandung ein ausgewogenes Verhältnis zu herrschen (BAW-AK, 1977/78). Für die Erhaltung der Stabilität des Strandes ist die Höhe des Sedimentangebotes ein erstrangiges Problem. Die Quelle des Materials liegt in der Nordsee. Die von der See kommenden Partikel werden unmittelbar der Uferzone zugeführt, oder sie entstammen den an den Weststrand angelagerten Riffen, die sich zeitlich in unregelmäßigen Abständen der Küste nähern, um sich dort schließlich dem Inselstrand anzugliedern. Der Verlauf der Entwicklung eines solchen Riffes wurde in der letzten Zeit durch vergleichende Luftbildaufnahmen festgehalten (LUCK u. WITTE, 1974). Aus diesem Nährgebiet im Westen der Insel wird augenscheinlich die Hauptmenge des Sandes und des Vorstrandes im oberen Drittel an das Südostende Borkums



verdriftet. Möglicherweise gelangen in die Bühnenfelder Sandmengen auch aus den Verklappungen, die zwischen den Tonnen 12 und 14 (Abb. 1) stattgefunden haben und einen platenähnlichen Körper entstehen ließen.

## 6. Ausblick

Die Auswertung der vorhandenen Meßunterlagen und der großen Anzahl von Bodenproben ermöglichte es, einige Zusammenhänge über die Veränderung der Morphologie unter Berücksichtigung der anthropogenen Einflüsse zu beurteilen. Allerdings haben die Erfahrungen gezeigt, daß, solange für wichtige Parameter keine gleichzeitigen Meßreihen vorliegen, die Detailfragen (Größe der Materialmenge, Transportrichtungen, Kausalität zwischen Seegang und morphologischer Entwicklung) nicht genügend beantwortet werden. Über die Erarbeitung dieser Studie hinaus, die zeitlich nur einen Ausschnitt der Entwicklung abdeckt und eine nicht abgeschlossene Phase der gestaltenden Vorgänge umfaßt, sind weitere Untersuchungsreihen anzustreben.

## 7. Schriftenverzeichnis

- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU – AUSSENSTELLE KÜSTE: Untersuchung der Sandbewegung mit radioaktiven Isotopen in der Westerems bei Borkum 1973. Unveröff. Bericht, 1974.
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU – AUSSENSTELLE KÜSTE: Gutachtliche Stellungnahme zur Sicherung der Südküste der Insel Borkum. Unveröff. Bericht, 1977.
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU – AUSSENSTELLE KÜSTE: Untersuchung der Sandbewegung mit radioaktiven Isotopen im Gebiet Randzelgat am Südweststrand von Borkum – April bis Juni 1977. Unveröff. Bericht, 1977/78.
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU – AUSSENSTELLE KÜSTE: Baugrundgeologisches Gutachten zum Bau der Bühne 31 u. 33 vor dem Deckwerk Südstrand auf der Insel Borkum, 1976/1977. Unveröff. Bericht, 1977.
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU – AUSSENSTELLE KÜSTE: Untersuchung der Sandbewegung in den Bühnenfeldern 29 bis 33 am Südweststrand von Borkum – Oktober 1977 bis Januar 1978. Unveröff. Bericht, 1978.
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU – AUSSENSTELLE KÜSTE: Gutachtliche Stellungnahme zur Sicherung der Südküste der Insel Borkum. Unveröff. Bericht, 1978.
- CHRISTIANSEN, H.: Umformung von Sandstränden durch Sturmfluten. *Hamburger Küstenforschung*, H. 35, 1976.
- DECHEND, W.: Die geologischen Untersuchungen in der Ems. Unveröff. Bericht des WSA Emden, 1950.
- DEUTSCHES HYDROGRAPHISCHES INSTITUT: Funkortungsverfahren für die Seevermessung im Nahbereich. Publikation Nr. 2232, Hamburg, 1973.
- FRIEDMAN, G. M.: On sorting, sorting coefficients, and the lognormality of the grain size distribution of sandstones. *J. Geol.* 70, Chicago, 1962.
- FÜHRBÖTER, A.: Über die Bedeutung des Lufteinschlages für die Energieumwandlung in Brandungszonen. *Die Küste*, Heft 21, 1971.
- GÖHREN, H.: Über die Genauigkeit der küstennahen Seevermessung nach dem Echolotverfahren. *Hamburger Küstenforschung*, H. 2, Hamburg, 1968.
- GROTHENN, D.: Untersuchungen zur Wattvermessung (Dissertation). *Wissenschaftliche Arbeiten der Institute für Geodäsie und Photogrammetrie der TH Hannover*, Nr. 23, Hannover, 1964.
- HOMEIER, H. u. LUCK, G.: Untersuchung morphologischer Gestaltungsvorgänge als Grundlage für die Fortführung des Inselfschutzes am Südweststrand Borkums. *Jahresbericht d. Forschungsstelle f. Insel- u. Küstenschutz d. Niedersächs. Wasserwirtschaftsverwaltung* 1969, Bd. 21, 1971.

- HJULSTRÖM, F. H.: Studies on the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris. Bull. Geol. Inst. Uppsala, 25, 1935.
- INGLE, J. C.: The movement of beach Sand. Development in Sedimentology 5, Elsevier Pub., Com., Amsterdam, 1966.
- INMAN, D. L.: Measures for describing the size distribution of sediments. J. Sediment. Petrol. 22, Manasha, 1952.
- JANSSEN, TH.: Die neuere Entwicklung des Seegebietes vor Borkum. Abh. Naturw. Ver. Bremen, 1937.
- JESSEN, O.: Die Verlegung der Flußmündungen und Gezeitentiefs an der festländischen Nordseeküste in jungalluvialer Zeit. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1922.
- KÖSTER, R.: Dreidimensionale Kartierung des Seegrundes vor den Nordfriesischen Inseln. DFG Forschungsbericht „Sandbewegung im Küstenraum“, 1979.
- LANG, A. W.: Untersuchung zum Gestaltungswandel des Emsmündungstrichters von der Mitte des 16. Jahrhunderts bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts. Unveröff. Bericht des WSA Emden, 1954.
- LÜDERS, K.: Kleines Küstenlexikon. 2. Aufl., Hildesheim, 1967.
- LUCHT, F.: Die Beschickung von Lotungen im Küstengebiet der Deutschen Bucht und im Wattenmeer. Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg in Unterstützung der Dtsch. Forschungsgemeinschaft, 1973.
- LUCK, G. u. WITTE, H. H.: Erfassung morphologischer Vorgänge der Ostfriesischen Riffbögen in Luftbildern. DFG Forschungsbericht „Sandbewegung im Küstenraum“, 1979.
- NIEBUHR, W.: Über die neuere Entwicklung der Außenems und ihre vermutlichen Ursachen. Die Küste, Jg. 1, H. 1, 1952.
- REINECK, H. E.: Sedimentgefüge im Bereich der südlichen Nordsee. Senckenbergiana, 505, 1963.
- SAMU, Gy.: Morphologische und granulometrische Untersuchungen im Seegebiet vor Borkum. Die Küste, H. 23, 1972.
- SAMU, Gy.: Die morphologische Gestaltung des Seegebietes vor Borkum bis zum Südweststrand der Insel unter Berücksichtigung der Korngrößenverteilung. Unveröff. Bericht der BAW/AK, 1978.
- SONU, C. G., McLOY, W. H. u. McARTHUR, D. S.: Longshore Currents and Nearshore Topographics. Proc. 10th Conference on Coastal Engineering, New York, 1967.
- TRASK, P. D.: Origin and environment of source sediments of Petroleum. Houston Gulf, Publ. S. 67, 1932.
- WALGER, E.: Zur Darstellung von Korngrößenverteilungen. Geol. Rundschau, 54, 1965.
- WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT EMDEN: Verschiedene unveröffentlichte Dienstberichte.
- WIEGEL, R. L.: Oceanographic Engineering. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New York, 1964.